

0716671-1

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НИКОЛАЕВ Александр Анатольевич

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ
И ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ
И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Специальность: 11.00.09 – Метеорология, климатология,
агрометеорология

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
географических наук

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000709599

КАЗАНЬ – 2000

Работа выполнена на кафедре метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета

- Научный руководитель – доктор географических наук,
профессор ПЕРЕВЕДЕНЦЕВ Ю.П.
- Официальные оппоненты – доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
ФАХРУТДИНОВА А.Н.
– доктор географических наук,
профессор ФРЕНКЕЛЬ М.О.

Ведущая организация Казанский государственный
энергетический институт

Защита состоится « 22 » июня 2000 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета К.053.29.15 в Казанском государственном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корп.2, факультет географии и геоэкологии.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета. Отзывы и замечания, заверенные печатью, направлять по указанному адресу в двух экземплярах.

Автореферат разослан « 19 » мая 2000 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат географических наук, доцент



Ю.Г. Хабутдинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена:

- необходимостью более глубокого изучения и уточнения особенностей пространственно-временного распределения и динамики климатических показателей ресурсов солнечной радиации и ветра;
- недостаточной изученностью прикладных аспектов радиационного и ветрового режима региона;
- потребностью обеспечения различных отраслей народного хозяйства прикладной метеорологической и климатической информацией;
- возрастанием антропогенной нагрузки на окружающую среду и необходимостью, в связи с этим, поиска экологически чистых источников энергии.

Цель и задачи исследования. Цель работы состояла во всестороннем анализе пространственно-временного распределения характеристик солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья, в оценке энергетического потенциала воздушных потоков и потоков солнечной радиации на территории региона.

Достижение цели предусматривает решение следующих задач:

- формирование банка исходных климатических данных;
- выбор методики для расчета показателей климатических ресурсов и создание необходимых для этого программных средств;
- выявление закономерностей в пространственно-временном распределении характеристик солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья;
- анализ особенностей временной изменчивости характеристик солнечной радиации и характеристик ветра в регионе;
- оценка гелио- и ветроэнергетического потенциала в регионе.

Научная новизна и основные результаты работы заключаются в следующем:

- получены новые количественные характеристики многолетнего режима характеристик ветра и солнечной радиации на территории Среднего Поволжья, подготовлен соответствующий картографический материал;
- выявлены тенденции изменений в многолетнем ходе компонентов ветра и солнечной радиации на основе восьмисрочных наблюдений;
- выявлены закономерности пространственно-временной изменчивости характеристик ветра и солнечной радиации;

- исследована возможность использования расчетных методов для получения данных о радиационном режиме на территории Среднего Поволжья;
- исследованы особенности вертикального распределения скорости и направления ветра для ряда станций Среднего Поволжья;
- проведена оценка ветро- и гелиоэнергетического потенциала в регионе;
- построены карты распределения продолжительности солнечного сияния и ветроэнергетического потенциала на рассматриваемой территории;
- рассчитаны элементы гелио- и ветроэнергетического кадастров Среднего Поволжья.

На защиту выносятся:

- особенности пространственно-временного распределения показателей климатических ресурсов солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья;
- результаты исследования возможности расчета характеристик солнечной радиации для территории Среднего Поволжья;
- результаты оценки элементов гелио- и ветроэнергетического кадастра региона;
- особенности пространственно-временного распределения гелио- и ветроэнергетического потенциалов в регионе.

Практическая значимость работы заключается в получении количественных показателей, дающих оценку территориального распределения и временной изменчивости характеристик солнечной радиации, ветра и энергетического потенциала на территории Среднего Поволжья. Результаты работы могут быть использованы при мониторинге климата в регионе, а также при климатическом обслуживании отраслей народного хозяйства, в той или иной степени зависящих от климатических условий. Результаты представляют интерес и для учебно-методических целей.

Апробация работы. Основные результаты выполненных исследований докладывались на международной научно-практической конференции «Регион и география» (Пермь, 1995 г.), международной конференции «The third international conference on new energy systems and conversions» (Казань, 1997 г.), международном симпозиуме по энергетике, окружающей среде и экономике (Казань, 1998 г.), Всероссийских научных конференциях «Современная география и окружающая среда» (Казань, 1996 г.), «Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем и средств наземного обеспечения авиации» (Воронеж, 1997 г.), «Совершенствование наземного обеспечения авиации» (Воронеж, 1999 г.), научной конференции «Динамика и взаимодействие природных и социальных сфер развития» (Казань, 1998 г.),

Республиканских научных конференциях «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан» (Казань, 1995 г., 1997 г.), «Окружающая среда и здоровье» (Казань, 1996 г.), итоговых научных конференциях Казанского университета, научных семинарах кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Общий объем диссертации составляет 139 страниц, работа содержит 18 рисунков, 18 таблиц и приложения. Список литературы включает 121 наименование. По теме диссертации опубликовано 10 работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, излагаются цели и задачи исследования, дана оценка научной новизны и практической значимости результатов работы, приведен перечень положений, выносимых на защиту.

В первой главе даны краткое физико-географическое и климатическое описание региона, характеристика исходного материала. Проведено исследование пространственно-временного распределения радиационного режима в пределах Среднего Поволжья. Рассмотрена его межгодовая изменчивость.

Отметим, что вопросам изучения радиационного режима отдельных территорий, характеристик солнечной радиации и их взаимодействия с атмосферой и земной поверхностью посвящен целый ряд работ. Так, в работах, выполненных в ГГО им. А.И. Воейкого под руководством З.И. Пивоваровой проанализирован широтный ход компонент солнечной радиации по территории СССР. Т.Г. Берлянд составлены карты, проведен анализ междугодовой изменчивости, представлены карты распределения среднего квадратического отклонения суммарной радиации на континентах Северного полушария.

Однако характеристики солнечной радиации в этих работах рассматривались либо в целом по земному шару или по территории СССР, либо по отдельным пунктам. В связи с чем представляет определенный интерес изучение радиационного режима Среднего Поволжья в целом.

Среднее Поволжье включает в себя следующие административные образования: Костромскую, Кировскую, Нижегородскую, Ульяновскую, Пензенскую, Самарскую области и пять республик – Марий Эл, Чувашия, Удмуртия, Мордовия и Татарстан. Вся территория Среднего Поволжья составляет часть огромной Русской равнины. В Среднем Поволжье нет высоких

гор, и рельеф его отличается сравнительной простотой: широкие плоские водоразделы чередуются с неглубокими, разработанными долинами рек.

Изучению различных аспектов климатического режима как отдельных областей, так и региона в целом, посвящены многочисленные исследования казанских метеорологов, отнесенные к различным периодам времени, начиная с первой работы Ф.К. Броннера (1815 г.) и заканчивая монографией коллектива авторов Ю.П. Переведенцева, М.А. Верещагина, Э.П. Наумова и К.М. Шанталинского «Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата» (1999 г.). Особо следует выделить монографию Н.В. Колобова «Климат Среднего Поволжья» (1968 г.), где впервые исследованы климатические условия региона.

В данной работе в качестве исходного материала использовались различные характеристики солнечной радиации в пределах периода 1954-1998 гг. При этом обработке подисжали их срочные значения за 10-летний период на 8 станциях: Вязовые, Нолинск, Кострома, Нижний Новгород, Самара, Саратов, Ростоши, Ершов, и за 37-летний период – Метеообсерватории (МО) Казань, университет. Анализировались также среднemesячные значения характеристик на этих же станциях и данные о продолжительности солнечного сияния на 37 станциях за 17-летний период.

Для анализа географического распределения месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния по территории Среднего Поволжья были построены 13 карт, которые позволили подтвердить, что особенности атмосферной циркуляции и связанной с ней облачности приводят к нарушениям в широтном распределении характеристик солнечного сияния. На рассматриваемой территории увеличение числа часов солнечного сияния происходит с северо-запада на юго-восток. Если на северо-западе продолжительность солнечного сияния за год составляет 1570-1600 час (Костромская область), то на юго-востоке она достигает 2300-2400 час. Увеличение продолжительности солнечного сияния в юго-восточных районах обусловлено в основном меньшей повторяемостью пасмурного состояния неба.

Анализ месячных карт распределения продолжительности солнечного сияния (рис. 1) показал, что по всей территории наблюдается увеличение продолжительности солнечного сияния от зимы к лету. Резкое возрастание числа часов с солнечным сиянием наблюдается в период от февраля к марту, что обусловлено как увеличением продолжительности дня, так и значительным уменьшением весной повторяемости пасмурных дней. Так же следует отметить, что возрастание продолжительности солнечного сияния с северо-запада на юго-восток характерно для всех месяцев года.

В суточном ходе продолжительности солнечного сияния летом максимум, болсе 20 час в сумме за месяц, отмечается около полудня (в среднем от 10 до 12 часов дня). Зимой (декабрь-январь) наибольшее число часов солнечного сияния, около 8-9 часов в сумме за месяц, отмечается в основном после полудня, в интервале между 12-14 часами. Большое прикладное значение имеет знание непрерывной продолжительности солнечного сияния. В течение всего года наибольшая повторяемость приходится на градацию 2-6 час. Осенью она составляет 20-30% всех случаев наблюдений, зимой – 30-40%, весной и летом несколько меньше, 15-25%. В летнее время возможны ясные дни с солнечным сиянием 16-18 часов подряд.

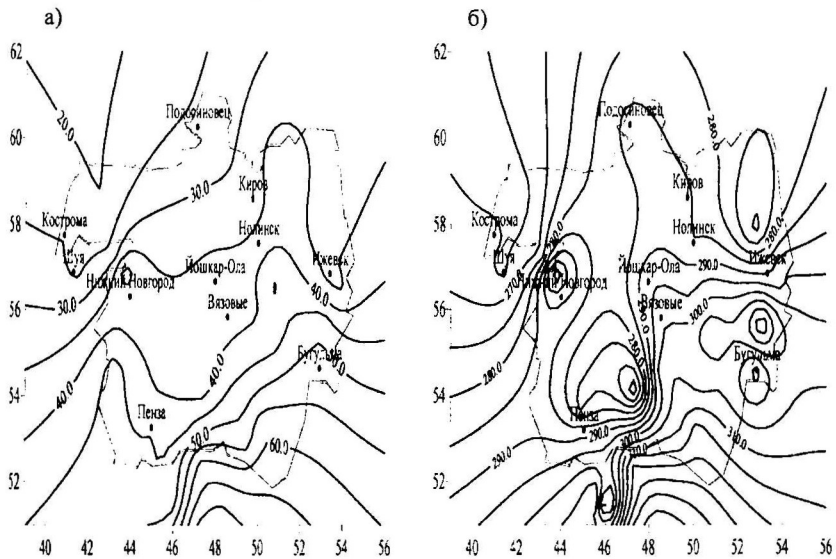


Рис 1. Средняя продолжительность солнечного сияния (час) на территории Среднего Поволжья в январе (а) и июле (б).

Средний годовой приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе, изменяется по территории в пределах 4382-5099 МДж/м². Годовые суммы рассеянной радиации при безоблачном небе составляют 1093,6-1324,0 МДж/м². Облачность снижает поступление прямой солнечной радиации на 55-67% от возможной и в то же время увеличивает рассеянную радиацию более чем в полтора раза. В результате при реальных условиях облачности годовой приход прямой радиации колеблется в пределах 1611,2-2426,9 МДж/м², увеличиваясь с запада на восток и с севера на юг. При этом наибольшее количество солнечного тепла 316-412 МДж/м² поступает в

июне, а в декабре оно оказывается наименьшим в году 2-22 МДж/м². Таким образом, среднегодовая амплитуда в количестве поступающего к земной поверхности солнечной энергии составляет 355 МДж/м², т.е. почти 20% от годовой суммы.

Суммарная радиация при действительных условиях облачности в целом за год составляет 3345-4507 МДж/м², а при ясном в среднем на 52,5% больше – 5479-6423 МДж/м². В годовом ходе максимум приходится на июнь и равен 584-695 МДж/м². В декабре суммарная радиация наименьшая в году, 23-74 МДж/м². Подобно прямой радиации, для суммарной радиации характерно резкое возрастание месячных сумм от февраля к марту, а также уменьшение их от августа к сентябрю. В целом за год суммарная радиация складывается практически из равного участия (48-54%) прямой и рассеянной радиации. В период ноябрь-январь вклад прямой радиации в суммарную составляет 21-31%, с апреля по август – 50-60%.

Средний годовой радиационный баланс составляет в регионе 1359-1983 МДж/м². Переход радиационного баланса от отрицательных значений к положительным происходит в марте на севере и в феврале на остальной части территории. Смена знака радиационного баланса осенью отмечается в третьей декаде октября. Однако в отдельные годы в зависимости от залегания снежного покрова может быть сдвиг времени перехода радиационного баланса через нуль. Максимальная сумма радиационного баланса наблюдается в июне – 325-404 МДж/м², однако и в соседние месяцы, мае и июле, радиационный баланс имеет значения близкие к максимальным.

Максимальные значения среднего квадратического отклонения месячных сумм радиации (межгодовая изменчивость) наблюдаются летом и составляют 60-115 МДж/м² для прямой и суммарной радиации и 25-40 МДж/м² для рассеянной радиации. Зимой значения среднего квадратического отклонения месячных сумм радиации составляет 4-17 МДж/м² для прямой и суммарной радиации, 15-21 МДж/м² для рассеянной радиации. Весной значения среднего квадратического отклонения равны 21-70 МДж/м² для прямой и суммарной радиации. Осенью эти значения несколько меньше – 10-50 МДж/м².

Наибольшей относительной изменчивостью (коэффициент вариации) отличается прямая радиация — 25-35% зимой и 15-20% летом на большей части региона. Коэффициент вариации месячных сумм суммарной и рассеянной радиации летом составляет 8-12%. Зимой относительная величина изменчивости суммарной радиации увеличивается до 15-30%. Коэффициент асимметрии

радиационных показателей во многих случаях достигает значений 0,6-1,0 и иногда превышает 1,0.

Суточный ход значений потоков солнечной радиации и радиационного баланса определяется прежде всего изменением высоты солнца в течение дня. Поэтому максимум солнечной радиации при наличии облачности или при ясном небе наблюдается в полдень. Влияние прозрачности атмосферы заметно проявляется в условиях ясного неба (особенно в летнее время). Обычно в летнее время в первую половину дня атмосфера более прозрачна, чем во вторую. Это связано с увеличением во вторую половину дня запыленности атмосферы вследствие сильно развитой конвекции и увеличением абсолютной влажности. Поэтому изменения радиации в течение дня несимметричны относительно полудня.

Исследование радиационного режима по данным МО Казанского университета за многолетний период (1962-1998 гг.) позволило получить следующие результаты.

В суточном ходе прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации максимум во все месяцы года наступает в среднем в полдень (в срок наблюдений 12 час 30 мин). В июне отмечаются наибольшие значения в году. Наименьшие же приходятся на декабрь-январь.

Годовой приход суммарной солнечной радиации составляет 3156 МДж/м^2 , при этом наибольшее количество энергии $563,7 \text{ МДж/м}^2$ поступает в июне, в декабре оно оказывается наименьшим ($21,2 \text{ МДж/м}^2$).

Среднее квадратическое отклонение месячных значений суммарной радиации колеблется в течение года в пределах $5-68 \text{ МДж/м}^2$, достигая наибольших значений $63-68 \text{ МДж/м}^2$ в период май-июль. Наименьшая изменчивость суммарной радиации свойственна периоду с ноября по февраль ($5-15 \text{ МДж/м}^2$).

Анализ распределения коэффициентов асимметрии и эксцесса показывает, что закон нормального распределения изучаемых характеристик выполняется не всегда.

Нами произведена оценка зависимости радиационного режима от циркуляции атмосферы, состояния облачного покрова. Представляет интерес также оценка влияния приходящей радиации на температуру воздуха.

Установлено, что наиболее высокие связи для суммарной радиации обнаруживаются с состоянием облачного покрова практически во всех месяцах. При этом следует отметить, что коэффициент корреляции с количеством нижней облачности превышает соответствующие коэффициенты с количеством общей облачности (за исключением января, июля и сентября). Коэффициент

корреляции суммарной радиации с количеством нижней облачности изменяется от $-0,38$ (сентябрь) до $-0,81$ (июнь) и с количеством общей облачности колеблется от $-0,42$ (декабрь) до $-0,75$ (июнь), при этом достоверное значение коэффициента корреляции $r_{0,95}(n) = 0,32$.

При сравнении же коэффициентов корреляции прямой радиации и облачности следует отметить, что, в отличие от суммарной радиации, коэффициент корреляции с нижней облачностью во все месяцы года меньше, чем коэффициент корреляции с общей облачностью. Значения коэффициента изменяются от $-0,66$ (октябрь) до $-0,90$ (март) для общей облачности и от $-0,44$ (сентябрь) до $-0,86$ (июнь) для нижней облачности. Отрицательные значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о том, что с ростом количества нижней и общей облачности приход суммарной радиации уменьшается.

Между температурой воздуха и суммарной радиацией связи оказались более тесными с мая по сентябрь и с ноября по март (для прямой радиации выводы аналогичны).

В работе, впервые для территории Среднего Поволжья, проведено исследование и оценка возможности получения данных о радиационном режиме расчетными методами. Сопоставление выполненных расчетов возможных сумм прямой радиации по формуле В.Г. Кастрова с реальными показало, что их отклонения имеют случайный характер. Так, максимальные отклонения составили 12-17% и приходятся на зимние месяцы. Таким образом, полученные путем расчета суммы радиации можно считать удовлетворительно точными. Рассмотренный способ расчета удобен тем, что он предъявляет минимальные требования к объему необходимой информации.

Для расчета возможных сумм рассеянной радиации целесообразно применять формулу, связывающую интенсивность рассеянной радиации с интенсивностью прямой $D = k_p c S$, где k_p – переходный множитель, $c = 0,32$ – коэффициент характеризующий среднюю прозрачность атмосферы. С использованием фактических данных наблюдений за рассеянной и прямой радиацией, были вычислены значения коэффициента k_p . В целях получения более удовлетворительных результатов коэффициент c был найден также эмпирически, путем подстановки в формулу фактических значений прямой и рассеянной радиации, с использованием коэффициента k_p полученного ранее при $c = 0,32$.

Нами выполнена работа по поиску наиболее оптимальных методов для расчета действительных сумм прямой солнечной радиации с использованием данных наблюдений на 5 станциях Среднего Поволжья (Кострома, Нолинск, Нижний Новгород, Самара и Вязовые). Для этого были взяты формулы С.И.

Сивкова, М.Н. Копылова и С.И. Савинова. Сравнение точности результатов расчета по ним показало, что лишь нахождение коэффициента k , по формуле М.Н. Копылова (2),

$$S_d = S_v (1 - (\bar{n} + n_n)/2 - k), \quad (2)$$

где S_d и S_v - действительная и возможная суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, соответственно, \bar{n} - среднее количество облачности в долях единицы, n_n - количество облачности нижнего яруса, позволяет свести разность между расчетными и реальными значениями прямой радиации до минимума.

Для этих станций были рассчитаны коэффициенты k для всех 12 месяцев. Было произведено осреднение k для пяти станций и рассчитана прямая радиация по этим значениям, которая оказалась намного ближе к реальным значениям прямой радиации.

Для расчета действительных сумм суммарной радиации использовались формулы предложенные А. Ангстремом, С.И. Савиновым и Г. Кимболом. Во всех трех формулах используются некоторые эмпирические коэффициенты. По данным пяти указанных выше пунктов Среднего Поволжья были рассчитаны эти коэффициенты и их средние значения. Затем для каждой из станций были произведены расчеты суммарной радиации по формулам. Сравнение месячных сумм суммарной радиации рассчитанных с реальными значениями показывает, что практически для всех станций и для всех месяцев разность между ними не превышает 10% (за исключением января-декабря для ст. Нижний Новгород). Что позволяет предположить возможность расчета месячных сумм суммарной радиации для других пунктов Среднего Поволжья с использованием полученных коэффициентов.

Во второй главе проведено детальное исследование пространственно-временных особенностей ветрового режима в пределах Среднего Поволжья. Рассмотрена межгодовая изменчивость скорости ветра.

Анализ литературы, посвященной как изучению ветрового режима вообще, так и ветроэнергетике, свидетельствует, что территория Среднего Поволжья в этом отношении является менее изученной по сравнению с другими регионами России. Подтверждением этому могут служить результаты оценки климатических характеристик ветра, выполненные и опубликованные в различное время для Прикамья, Московской и центрально-черноземных областей, северо-запада России, Сибири, а также для территории бывшего СССР в целом.

В качестве исходного материала использовались данные восьмисрочных наблюдений за ветром в период с 1965 по 1990 г. на станциях – Киров, Кострома, Нижний Новгород, Пермь, Ижевск, Уфа, Самара, Саратов и Казань, а также среднемесячные значения характеристик ветра по 160 станциям.

Исследования показали, что на территории региона в период с сентября по апрель наибольшую повторяемость (35-45%) имеют ветры южной четверти горизонта (юго-западные, южные, реже юго-восточные) обусловленные преобладающим влиянием огромного Сибирского антициклона. Роль северных и северо-восточных ветров в формировании погоды этого времени года невелика, повторяемость их составляет всего 5-10%. Установлено, что в апреле сохраняются черты зимнего режима распределения направления ветра, но устойчивость преобладающих ветров уменьшается по сравнению с мартом, в мае ветры неустойчивы, что связано с перестройкой полей давления к лету. В летний период преобладают ветры северного, северо-западного и отчасти западного направлений. Вообще летние месяцы характеризуются меньшей устойчивостью преобладающих направлений ветра. В это время вероятность двух преобладающих направлений (северного и северо-западного вместе) составляет около 35%. В начале осени в процессах циркуляции отмечается переход к зимнему режиму, поэтому изменяется и направление ветра: преобладающими в октябре становятся юго-западные ветры, отчасти южные, хотя и западные еще занимают значительное место.

Почти все основные направления ветра имеют хорошо выраженный годовой ход повторяемости с одним максимумом и одним минимумом. При этом, южные, юго-восточные и юго-западные ветры чаще наблюдаются зимой, чем летом, а северные, северо-восточные и восточные ветры, напротив чаще бывают летом.

На всей рассматриваемой территории довольно четко выражен годовой ход скорости ветра. Наибольшие средние месячные значения скорости ветра наблюдаются в холодное время года, минимальные летом (рис. 2). При этом рассмотрено влияние характера рельефа, подстилающей поверхности и защищенности станции на величину скорости ветра. Наибольшие скорости ветра в зимний период наблюдаются на выпуклых формах рельефа и в мало защищенных условиях, где они, достигают в среднем 5,5-6,5 м/с. На станциях, расположенных в более защищенных местах, а также на открытых станциях, но расположенных в вогнутых формах рельефа, средние месячные скорости равны 4,5-5,5 м/с. Минимальные скорости наблюдаются на защищенных станциях, находящихся в вогнутых формах рельефа (3,5-4,5 м/с). Средняя месячная скорость ветра весной слабее зимней и на большей части территории равна 3,8-

4,8 м/с. Летом средние месячные скорости ветра не превышают 4,0-4,5 м/с, осенью возрастают до 4-5 м/с.

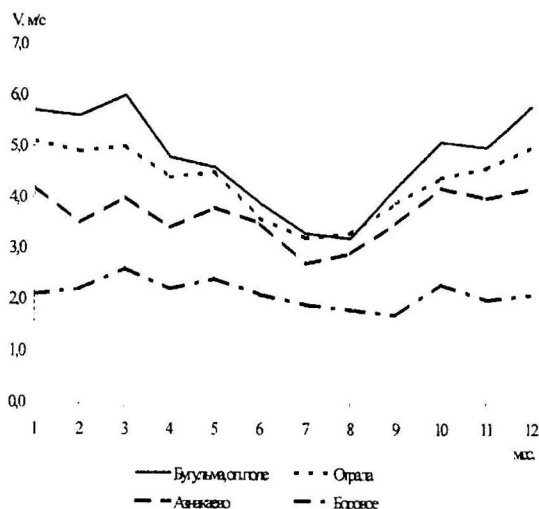


Рис. 2. Годовой ход скорости ветра на возвышенности (ст. Бугульма, 224 м), на равнине (ст. Отрада, 71 м), в долине (ст. Азнакаево, 178 м) и на поляне в лесу (ст. Боровое)

Анализ среднесрочных значений скорости ветра показал, что для зимнего сезона характерно малое различие в полях скоростей ветра за дневной и ночной сроки. Весной над районами Европейской территории России усиление дневных скоростей ветра по сравнению с ночными в среднем происходит на 1-2 м/с. В годовом ходе как дневные, так и ночные скорости ветра имеют минимальные значения преимущественно в июле-августе.

В годовом ходе для большинства станций характерен двухвершинный вид кривой за дневные сроки наблюдения с весенним и осенним максимумами. Двум максимумам дневных скоростей ветра соответствует и два минимума, приходящиеся чаще всего на летние (июль, август) и зимние (декабрь, февраль) месяцы. Годовой ход ночных скоростей ветра не всегда повторяет вид годового хода дневных скоростей. Двухвершинность нередко заменяется одновершинностью с максимумом в зимние месяцы и минимумом летом.

Для решения многих практических задач, в особенности при учете ветроэнергетических ресурсов, необходимы данные о вероятности различных скоростей ветра и данные о скоростях ветра различных градаций по румбам.

Проведенный анализ вероятности различных скоростей ветра указывает на преобладание в регионе слабых и умеренных ветров 0-5 м/с, которые составляют 70- 80%, а летом до 90% всех возможных скоростей. Скорости ветра более 10 м/с наблюдаются сравнительно редко, вероятность их составляет не более 6-10%, более 20 м/с – в единичных случаях. Зимой, весной и осенью чаще всего наблюдаются ветры со скоростью 2-5 м/с, с вероятностью 45-55, 48-58 и 35-42% соответственно, а летом – со скоростью 0-3 м/с (51-58%). Повторяемость ветров со скоростью более 6 м/с изменяется от 25-35% зимой до 15-20% летом. Весной и осенью она составляет 25-38%. На станциях расположенных в защищенных формах рельефа повторяемость ветров со скоростью более 6 м/с уменьшается в 2 раза. С увеличением скорости ветра уменьшается ее вероятность, однако в зимние месяцы вероятность больших скоростей выше, чем летом. Например, на ст. Арск (Татарстан) в январе вероятность скоростей 8-9 м/с составляет 11,4%, 10-11 м/с – 5,0%, 14-15 м/с – 1,5%. В июле вероятность этих градаций соответственно равна: 5,3; 2,0 и 0,1%.

Вероятности ветра различной скорости по направлениям в общих чертах подтверждают описанные выше закономерности, причем большими скоростями чаще характеризуются ветры преобладающих направлений. Так, зимой чаще повторяются скорости более 6 м/с при преобладающих южных и юго-западных ветрах. В июле наибольшая повторяемость тех же скоростей приходится на преобладающие западные, северо-западные и северные направления ветра. Ветры преобладающих направлений имеют большие скорости на станциях, расположенных на выпуклых и мало защищенных формах рельефа (например, в пунктах Арск, Безводовка, Наровчат). В пунктах же, расположенных на равнине, такая зависимость четко не проявляется и обнаруживается частично, а в защищенных пунктах и совсем не прослеживается.

Межгодовая изменчивость скорости ветра в регионе наиболее выражена в зимние месяцы. Средние квадратические отклонения скорости ветра в январе находятся в пределах 1,6-3,2 м/с. В декабре и феврале значения среднего квадратического отклонения на всех станциях несколько меньше январских значений и находятся в пределах 1,6-3,0 и 1,5-2,9 м/с соответственно. На некоторых станциях значения средних квадратических отклонений сравнимы со значениями средних скоростей ветра. Уже одно это обстоятельство указывает на значительную асимметрию распределений скорости ветра. Распределение скорости ветра зимой повсеместно резко асимметричное, логнормальное. Этот результат следовало ожидать, т.к. скорость ветра имеет часто достигаемый нижний предел. Значения коэффициентов асимметрии положительны и в некоторых случаях превышают единицу, т.е. имеют место такие ряды

наблюдений, которые включают в себя сравнительно немногочисленные, но большие по величине положительные отклонения от среднего значения и более многочисленные, но менее значительные по величине отрицательные отклонения. Значения коэффициента эксцесса для распределений скорости ветра также большие и положительные. Суточный ход изменчивости скорости ветра в зимние месяцы выражен слабо.

В весенние месяцы значение среднего квадратического отклонения скорости ветра находится в пределах 1,6-2,8, 1,5-2,6, 1,3-2,4 м/с для марта, апреля и мая соответственно. И в эти месяцы значения средних скоростей ветра, на отдельных станциях, сравнимы со значениями среднего квадратического отклонения. Значения коэффициентов асимметрии положительны и в большинстве случаев больше единицы. За редким исключением значения коэффициентов асимметрии в весенние месяцы больше, чем в зимние. Значения коэффициентов эксцесса для распределения скорости ветра также большие и положительные. Минимальная изменчивость скорости ветра наблюдается летом, когда ее значения находятся в диапазоне 1,3-2,4 м/с в июне, 1,2-2,1 м/с в июле и в августе. В весенние и летние месяцы отмечено наличие слабо выраженного суточного хода, с максимумом в дневные часы и минимумом в вечерние.

При сопоставлении годового хода значений коэффициента вариации и скорости ветра на всех станциях обнаруживается некоторая обратная зависимость этих величин. Зимой наибольшие значения коэффициента вариации наблюдаются на станциях с наименьшей средней скоростью ветра. Весной, летом и осенью в дневные сроки с усилением ветра атмосфера становится более однородной, что в значительной степени уменьшает изменчивость скорости ветра по всей территории региона. В это время распределение скоростей ветра близко к нормальному. Ночью с ослаблением скорости ветра изменчивость ее по сравнению с дневным сроком увеличивается в 1,5-2 раза. Годовая амплитуда коэффициента вариации колеблется в пределах 0,1-0,2. Годовой ход коэффициента вариации наиболее выражен в ночные сроки.

Усиление ветра намного превышающее среднюю величину, часто бывает кратковременным и связано с прохождением фронтов, шквалов, ураганов и не зависит от времени суток. Поэтому суточный ход коэффициента асимметрии довольно сложен и особенно для станций, имеющих слабые скорости ветра. Величина его подвержена случайным колебаниям в значительно большей степени, чем значения коэффициентов вариации. Тем не менее, тенденция меньшей асимметричности в дневные часы с наибольшими скоростями ветра и, наоборот, повышенной асимметричности в ночные часы с меньшими скоростями прослеживается на многих станциях. Как было выявлено на примере

коэффициента вариации, режиму значительных скоростей ветра соответствует малая изменчивость. Это относится и к коэффициенту асимметрии, как одной из характеристик изменчивости ветра.

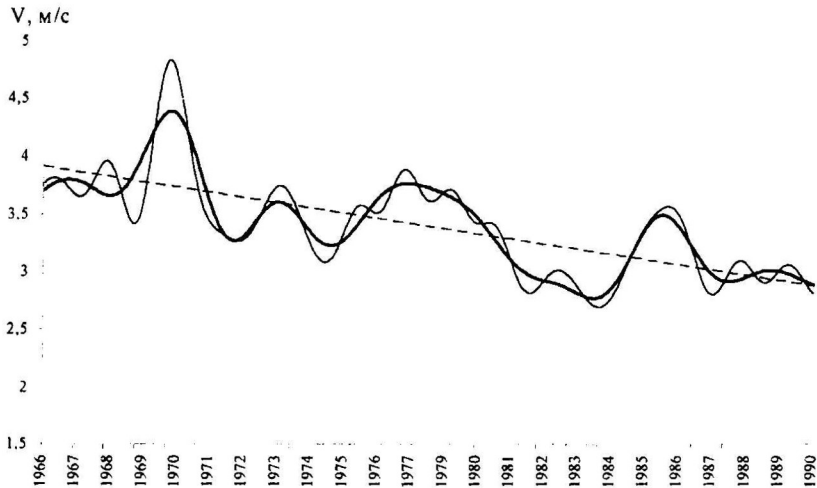


Рис. 3. Межгодовые колебания скорости ветра (м/с) на ст. Самара: сглаживание при $L \geq 18$ мес (—) и $L \geq 36$ мес (—) и линейный тренд (----).

С целью исследования низкочастотных компонент в колебаниях скорости ветра ряды средних месячных значений скорости ветра сглаживались с помощью низкочастотного фильтра Поттера ($L \geq 18$ мес и $L \geq 36$ мес).

Результаты фильтрации показывают (рис. 3), что наблюдаемый процесс уменьшения скорости ветра в регионе имеет сложный характер: волны увеличения значений скорости ветра (фазы роста u_m в отфильтрованных компонентах), чередовались с волнами уменьшения u_m , и наоборот. Однако за весь рассматриваемый период наблюдается тенденция снижения значений скорости ветра. При этом оно может быть описано линейным уравнением

$$\Delta u(\tau) = a\tau + b, \quad (2)$$

где τ – время (месяцы), $\Delta u(\tau)$ – сглаженная оценка изменений скорости ветра, a – коэффициент регрессии, b – свободный член. Результаты линейного тренд-анализа межгодовых колебаний скорости ветра показывают, что значения сглаженных скоростей ветра уменьшаются в Перми, Саратове, Самаре и Уфе на 0,6, 0,2, 0,4, 0,3 (м/с)/10 лет соответственно. Однако, в последние годы на ряде станций востока ЕЧР скорости ветра усиливаются.

Проведенный анализ показал, что на территории Среднего Поволжья во все сезоны достигаются скорости ветра благоприятные для работы ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой, средней и даже большой мощности на оси ветроколеса (33-100 м), при этом при размещении ВЭУ важно учитывать преобладающее направление ветра, т.к. этим направлениям соответствуют ветры обладающие наибольшей повторяемостью больших скоростей. Анализ также позволил охарактеризовать влияние рельефа и закрытости станций на ветровой режим.

В третьей главе исследованы элементы гелио- и ветроэнергетического кадастра на территории Среднего Поволжья, рассмотрено распределение гелио- и ветроэнергетического потенциала в регионе.

В работе произведен расчет и анализ элементов гелио- и ветроэнергетического кадастра. В него, помимо общеизвестных статистических параметров солнечной радиации и ветра (среднее значение, коэффициент вариации, среднеквадратическое отклонение, средний куб скорости ветра), входят характеристики учитывающие суммарную и непрерывную длительность работы и простоев ветроэнергетических установок (ВЭУ), повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч и более, возможная месячная продолжительность работы гелиоустановок, а также полная и утилизируемая мощность ветрового потока, оптимальная скорость регулирования ВЭУ.

Таблица 1

Возможная месячная продолжительность работы гелиоустановок (часы) при условии безоблачного неба ($S > 0,42 \text{ кВт/м}^2$)

Широта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	0	157	273	348	428	450	453	397	306	223	84	0
58	62	174	279	348	422	438	440	391	306	236	120	0
56	105	185	285	348	415	432	434	391	312	242	144	56
54	136	196	291	348	415	426	428	384	312	248	162	105
52	155	207	298	348	409	420	422	384	312	260	180	130
50	174	213	298	348	403	414	415	378	318	267	192	155

Согласно критериям Б.П. Вейнберга, солнечная радиация может считаться «технически приемлемой» с того момента, когда ее интенсивность достигает $0,42 \text{ кВт/м}^2$. Данная интенсивность при условии средней прозрачности атмосферы наблюдается при высоте солнца не ниже 10° , которая достигается, на широтах $50-60^\circ$ с.ш. через 1-1,5 ч после восхода и перед заходом. На основании

сказанного, используя сведения о высоте Солнца на различных широтах, была определена максимально возможная месячная продолжительность работы солнечных установок при условии безоблачного неба (табл. 1). Из анализа таблицы следует, что годовая амплитуда рассматриваемой величины быстро возрастает в сторону высоких широт и в июне-июле на широтах 60-62° возможная продолжительность работы гелиоустановки может превышать 450 ч.

В соответствии с практическими потребностями гелиотехники представляет интерес оценка повторяемости непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч и более, что соответствует одному из условий эффективной работы солнечной установки (табл. 2).

Таблица 2

Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч в сутки и более (в % от общего числа случаев с непрерывным солнечным сиянием)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Киров	4	36	50	53	43	42	42	42	34	28	19	0
Кострома	5	36	53	51	41	46	42	44	37	30	16	1
Н.Новгород	7	42	49	46	43	48	46	44	37	36	28	10
Анненково	5	41	56	59	50	55	50	48	42	42	35	2
Самара	23	49	50	62	59	61	59	62	54	48	40	20
Кузнецк	31	51	49	59	61	54	54	58	56	43	39	13
Саратов	20	42	50	54	52	56	53	58	55	49	43	13

Из анализа таблицы следует, что в январе и декабре в северной части региона повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч и более колеблется от 0 до 10%, в южной части Среднего Поволжья от 10 до 30%. Весной и летом рассматриваемая величина колеблется в пределах от 40-50% на севере и до 50-60% на юге рассматриваемой территории. Осенью наиболее низкие значения наблюдаются на севере региона в ноябре.

По удельной мощности ветрового потока (N_e) с использованием данных станций расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа, нами были выделены районы с различным фоновым режимом ветра. В соответствии с указанным принципом для районирования территории Среднего Поволжья было отобрано 38 метеостанций и проведены изолинии N_e . В итоге выделены районы с различным ветроэнергетическим потенциалом (рис. 4). Наибольшие ветроэнергетические ресурсы сосредоточены в районе Камского устья и Пензенской области, где они достигают 200 Вт/м², чуть меньше над Бугульмино-Белебеевской возвышенностью, в районе и юго-запада и юго-

востока Среднего Поволжья удельная мощность ветрового потока здесь превышает $175-200 \text{ Вт/м}^2$ в зимний период. В весенний и осенний периоды в этих районах отмечается более $125-150 \text{ Вт/м}^2$. Несколько хуже, но достаточно неплохие условия для ветроэнергетики имеются на западе Костромской и юго-востоке Кировской областей – $125-150 \text{ Вт/м}^2$ в зимний период и $100-125 \text{ Вт/м}^2$ весной и осенью.

В летний сезон практически вся территория Среднего Поволжья характеризуется $N_e \leq 50 \text{ Вт/м}^2$. Однако и летом прослеживаются области максимума и минимума N_e в тех же самых указанных районах со значением $N_e \geq 50-75 \text{ Вт/м}^2$.

Таким образом годовой ход N_e на территории Среднего Поволжья выражена довольно хорошо. Максимальные значения N_e наблюдаются зимой, минимальные летом. Значения N_e осенью больше чем весной.

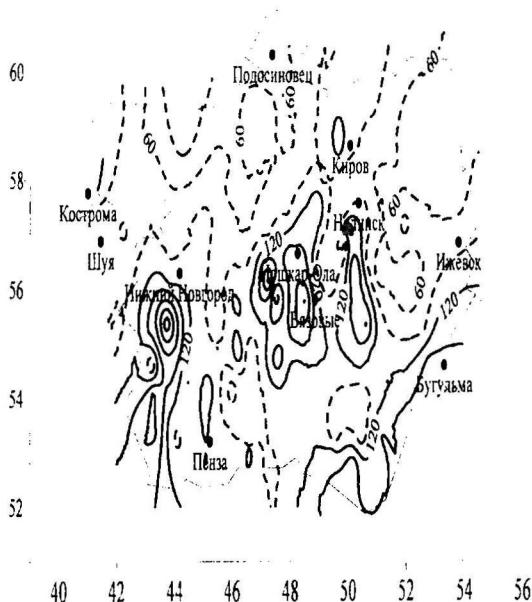


Рис. 4. Удельная мощность ветрового потока (Вт/м^2) на территории Среднего Поволжья в зимний период.

Практическое значение фоновых карт состоит в том, что они позволяют определить удельную мощность ВЭУ, расположенных на ровной открытой местности. Если в том же районе имеются возвышенные участки, где

ветроэнергетический потенциал выше, то желательно размещать ВЭУ в этих более благоприятных условиях.

Анализ распределения среднегодовых, среднеянварских (u_1) и среднеиюльских (u_{VII}) скоростей, а также удельной мощности ветрового потока N_e на высоте флюгера на территории Среднего Поволжья позволил выделить три группы станций, по аналогии с работой Р.С. Абдрахманова и Ю.Л. Переведенцева для Республики Татарстан. Они характеризуются следующими параметрами: 1 группа – $u_1, u_{VII}, u_T = 4,5-5,5, 5,0-6,2, 3,3-4,5$ м/с; N_1, N_{VII} и $N_T = 99-180, 136-258$ и $62-157$ Вт/м² соответственно; 2 группа – u_1, u_{VII}, u_T равны $4,0-4,4, 4,3-5,2, 2,9-3,8$ м/с; N_1, N_{VII} и N_T равны $70-92, 92-152$ и $46-94$ Вт/м² соответственно; 3 группа – описывается $u_1, u_{VII}, u_T = 3,3-3,8, 3,6-4,4, 2,4-3,4$ м/с; N_1, N_{VII} и N_T равными $49-74, 55-92$ и $24-53$ Вт/м² соответственно.

Были произведены расчеты среднегодовых и сезонных значения скорости регулирования ветроагрегата (u_p) для исследуемой территории. В целом за год они варьируют от 4 до 7 м/с. Следовательно, учитывая пространственно-временной ход ветрового режима, при выборе ВЭУ для утилизации ресурсов можно рекомендовать ветроагрегаты со скоростью регулирования ветроколеса в диапазоне $6 < u_p < 7$ м/с для станций 1 группы, $5 < u_p < 6$ м/с для станций 2 группы и $4 < u_p < 5$ м/с для станций 3 группы.

Результаты расчетов потенциальной и утилизируемой мощности ветрового потока во многом зависят от местных условий и поэтому отличаются очень высокой пространственной изменчивостью. Если средняя скорость на ст. Киров, город больше, чем на ст. Фаленки (Кировская обл.) в 1,3 раза, то соотношение энергии ветрового потока в этих пунктах составляет 2,1.

Поскольку при слабых скоростях ВЭУ не работает, целесообразно оценить длительность периодов с энергоактивными ("рабочими") и "нерабочими" ветрами. Результаты расчетов показывают, что суммарная длительность скоростей $V \geq 3$ м/с в районах с высокими средними скоростями ($V \geq 4$ м/с) превышает 50% времени года.

Анализ результатов расчетов временных характеристик показал, что основные особенности режима ветра в целом проявляются как в распределении средней длительности энергетических затиший, так и энергоактивных скоростей. Непрерывно (без учета кратковременных перерывов ветров длительностью менее 1 ч) скорости ветра, равные и выше 3 м/с, когда может работать ВЭУ, делятся 10-14 ч в зимние месяцы с оптимальным для ветроэнергетики режимом ветра и 6-8 ч – в остальное время года.

Непрерывные периоды энергетических штилей, характеризующие время возможных простоев ВЭУ, имеют противоположный пространственный ход.

Они составляют 10-12 ч в закрытых местах сложного рельефа, 7-9 ч - на равнине и 3-6 ч - в наиболее "ветреных" районах региона.

Фоновое распределение потенциальной и утилизируемой мощности ветрового потока на высотах 30 и 100 м свидетельствует что по сравнению с уровнем флюгера эти величины в среднем увеличиваются в 2,9 и 1,6 раза на уровне 30 м и в 5,8 и 2,0 раза на уровне 100 м. Однако фоновые поля этих характеристик различаются не столь сильно.

В заключении сформулированы следующие основные выводы работы.

1. Детальный анализ режима характеристик солнечной радиации и солнечного сияния на территории Среднего Поволжья, выполненный на основе карт распределения их средних многолетних значений по месяцам и за год, позволил выявить особенности структуры и динамики поля исследуемых показателей в годовом ходе, обусловленным в основном устойчивым проявлением циркуляционного фактора. При этом происходит увеличение радиационных показателей с северо-запада на юго-восток от 1600 до 2400 час для солнечного сияния и от 3345 до 4500 МДж/м² для суммарной радиации. Исследование межгодовой изменчивости и характеристик солнечной радиации показало, что в целом их распределение по территории подобно распределению их средних значений. Наибольшей изменчивостью показатели солнечной радиации отличаются в летний период и составляют 60-115 МДж/м², наименьшей в зимний – 4-17 МДж/м².
2. Произведенная оценка результатов расчета возможных и действительных сумм солнечной радиации по сравнению с фактическим их значением позволила дать рекомендации по улучшению точности их расчетов для территории региона. Средняя относительная погрешность расчета действительных сумм суммарной радиации, с учетом предложенных рекомендаций, не превысила 10%.
3. На уровне 10 м над землей наиболее высокие скорости ветра 5,5-6,5 м/с наблюдаются в выпуклых формах рельефа и в мало защищенных условиях. Наименьшие скорости наблюдаются на защищенных станциях, находящихся в вогнутых формах рельефа – 3,5-4,5 м/с. Межгодовая изменчивость скорости ветра в регионе наиболее выражена в зимние месяцы ($\sigma = 1,6-3,2$ м/с). Минимальная изменчивость скорости ветра наблюдается летом – $\sigma = 1,3-2,4$ м/с. Сопоставление годового хода значений коэффициента вариации и скорости ветра позволило выявить обратную зависимость этих величин. Наименьшие значения коэффициента вариации соответствуют наибольшим значениям скорости ветра. Проведенный анализ срочных значений скорости ветра показал, что для зимнего сезона характерно малое различие в полях скоростей ветра за

дневные и ночные сроки. В годовом ходе характерен двухвершинный вид кривой за дневные сроки с весенним и осенним максимумами.

4. Выявлены особенности годового хода и пространственного распределения повторяемости ветра по направлениям, по градиентам скорости и вероятности ветра различной скорости по направлениям. В холодный период наибольшую повторяемость (40-45%) имеют ветры южной четверти, в теплый период преобладают ветры северные, северо-западные и отчасти западные – 30-35%. Ветры преобладающих направлений имеют большие скорости ветра, так зимой скорости ветра более 6 м/с чаще повторяются при южных и юго-западных ветрах.

5. Исследование особенностей вертикального распределения скорости ветра для ряда станций Среднего Поволжья позволило установить, что с высотой условия для использования ресурсов ветра существенно улучшаются. Средняя скорость на высоте 100 м увеличивается в 1,5-2 раза по сравнению с 10 м.

6. Выполненные расчеты повторяемости непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч и более и возможной месячной продолжительности работы гелиоустановок показали, что с увеличением широты возрастает годовая амплитуда продолжительности работы гелиоустановок, в июне и июле на широтах 60-62° с.ш. возможная продолжительность работы гелиоустановки может превышать 450 ч. Непрерывная продолжительность солнечного сияния более 6 ч в весенне-летний период может достигать 40-50% на севере и до 50-60 % на юге рассматриваемой территории.

7. Выполненные расчеты элементов ветрового кадастра Среднего Поволжья и анализ их результатов позволили выявить районы с различным фоновым режимом ветра. Наибольшие ветроэнергетические ресурсы сосредоточены в районе Камского устья, над Бугульминско-Белебеевской возвышенностью и в районе Пензенской области, удельная мощность ветрового потока здесь превышает 175-200 Вт/м² в зимний период и более 125 Вт/м² весной и осенью. Несколько хуже, но достаточно неплохие условия для ветроэнергетики имеются на западе Костромской и юго-востоке Кировской областей, а также на юго-востоке и юго-западе региона – 125-150 Вт/м². Эффективная утилизация ветровых ресурсов у земли возможна ветроагрегатами, у которых начальная скорость $u_0 = 3-4$ м/с, а скорость регулирования $u_p = 5-7$ м/с. В зонах с наибольшей плотностью ветрового потока такие ветроагрегаты способны работать в течение 50-60% времени года с перерывами в периоды безветрия длительностью 3-6 ч.

Основные результаты диссертации изложены в нижеследующих работах:

1. Николаев А.А., Урманова А.Г. Особенности ветрового режима пригорода

- Казани по данным станции Казань-АМСГ // «Регион и география». Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Ч.3. - Пермь, 1995. - С. 32-33.
2. Переведенцев Ю.П., Николаев А.А. Радиационный режим в Казани // «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан». Тезисы докладов 2-й Республиканской научной конференции.-Казань, 1995. - С. 36-37.
3. Николаев А.А. Изменчивость радиационных характеристик в г. Казани (1962-1994 г.г.). // «Современная география и окружающая среда»: секция - климат и экология атмосферы. Тезисы докладов. - Казань, 1996. - С. 25-27.
4. Николаев А.А. Радиационный режим в Среднем Поволжье. // Тезисы докладов Всероссийской конференции по современным методам подготовки специалистов. - Воронеж, 1997. - С. 303-305.
5. Abdrakmanov R.S., Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P., Nikolaev A.A. Solar radiation regime in the middle Volga region. // The third international conference on new energy systems and conversions. - Kazan, 1997. - P.p. 105-108.
6. Николаев А.А. Радиационный режим Среднего Поволжья. // «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан». Тезисы докладов 3-й республиканской научной конференции. - Казань, 1997. - С. 66-67.
7. Переведенцев Ю.П., Урманова А.Г., Наумов Э.П., Николаев А.А. Региональные проявления глобального потепления климата Земли в современный период на территории Татарстана. // В сб.: «Проблемы гео- и социозологии Республики Татарстан». Вып. 1. Казань. Изд-во «Экоцентр». 1998. - С. 52-67.
8. Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Николаев А.А. Режим солнечной радиации в Среднем Поволжье. Материалы докладов 2-го международного симпозиума по энергетике, окружающей среде и экономики. Том II. Казань. КФ МЭИ, 1998. - С. 205-208.
9. Николаев А.А. Использование расчетных методов для получения данных о радиационном режиме на территории Среднего Поволжья. // «Динамика и взаимодействие природных и социальных сфер Земли». Тезисы докладов научной конференции, посвященной 60-летию факультета географии и геоэкологии Казанского университета. - Казань: Изд-во «Татполиграф». 1998. - С. 42-45.
10. Переведенцев Ю.П., Николаев А.А. Ветровой режим аэропорта «Казань». // «Совершенствование наземного обеспечения авиации». Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. - Воронеж, 1999. - С. 37-38.

200

Отпечатано в ООО «СИДДХИ-СЕКЬЮРИТИ».
Казань, ул. Журналистов, 1/16, офис 211. Тел. (8432) 76-74-59
Лицензия №0130 от 1.08.98 г.
Заказ №269. Тираж 100 экз.
Формат 60х84/1. Бумага офсетная. Печать – ризография.